선박의 부식과 방식 대책(Ⅱ)

김 기 준/한국해양대학교 방식공학연구실 교수

목 차

Ⅰ. 서 언
Ⅱ. 부식과 방식의 원리
1. 부식이란?
2. 부식의 발생원인
3. 전위(potential)
4. 전위-pH도
Ⅲ. 부식의 종류와 특성
1. 균일 부식(uniform corrosion)
2. 갈바닉 부식(galvanic corrosion)
3. 틈 부식(crevice corrosion)
4. 공식(pitting)
5. 침식 부식(erosion corrosion)
6. 응력 부식(stress corrosion)
7. 기타 부식
Ⅳ. 해양환경의 부식특성
1. 해수의 화학적 성질
2. 금속의 해수부식 특성
3. 스테인레스강의 해수부식
4. 해양 대기부식
5. 기타 환경 중 부식
Ⅴ. 방식의 종류와 특성
1. 금속의 재질 변화
2. 부식 환경 변화
3. 금속표면의 피복
4. 금속의 전위 변화
5. 방식설계
Ⅵ. 선박의 방식과 방오
1. 선체도장에 의한 방식과 방오
2. 선박의 음극방식
3. 추진기의 방식
4. 해수 발라스트탱크의 방식
5. 선박기관의 부식과 방식
Ⅶ. 소형선박의 부식문제와 그 대책
Ⅷ. 결 언

4. 해양환경의 부식특성

4.1 해수의 화학적 성질

해수중에는 지구상의 거의 모든 원소가 용해되어 있으며, 이중 주로 10여개의 원소가 주성분을 이루고 있고, 그 밖의 원소들은 극미량이 존재하는 것으로 알려져 있다. 〈표 3〉은 해수성분의 99.9%를 차지하고 있는 11개 원소들인데, 이중 소금(Na^+, Cl^-)이 85%이상을 차지하고 있고, 마그네슘(Mg^{2+})과 칼슘(Ca^{2+})의 양이온과 황산염(SO_4^{2-}) 및 중탄산염(HCO_3^-)의 음이온이 그 뒤를 잇고 있다.

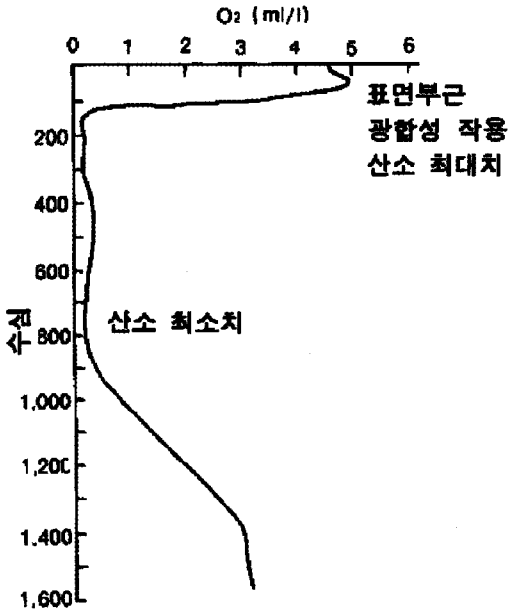
〈표 3〉 해수의 주요성분

이 온	기 호	자 유 이 온 %	전체주요성분에 대한 중량비
+이온(Cation)			
나트륨(Sodium)	Na^+	99	30.62
마그네슘(Magnesium)	Mg^{2+}	87	3.68
칼슘(Calcium)	Ca^{2+}	91	1.18
칼륨(Potassium)	K^+	99	1.10
스트론튬(Strontium)	Sr^+	90	0.02
-이온(Anions)			
염소(Chloride)	Cl^-	100	55.07
황산염(Sulfate)	SO_4^{2-}	50	7.72
중탄산염(Bicarbonate)	HCO_3^-	67	0.40
부로마이드(Bromide)	Br^-	100*	0.19
바륨산(Borate)	$H_2BO_3^-$	10*	0.01
불소(Fluoride)	F	100*	0.01
			100.00

* 추정

해양표면은 대기와 직접 접촉하고 있기 때문에 대기중 산소, 질소, 및 이산화탄소와 같은 기체가 자유롭게 드나들 수 있으며 이중 산소의 용해는 금속부식을 활성화하는 주 역할을 하고 있다. 해수중 용존산소량은 표면에서의 직접 용해와 해양환경중 동식물의 광합성작용으로 일정 깊이까지 그 함량이 증가하는데 〈그림 8〉과 같이 수심 약 100m까지 증가하다가 광합성이 어려운 수심이 되면 급격히 용존산소량이 감소하며, 심해수에서 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 이 심해수에서의 산소량 증가는 해류에 의해 표층수가 심해수로 바뀌기 때문인 것으로 알려지고 있다.

따라서 해수중 금속의 부식성은 용존산소량이 높은 해양표면에서 주로 일어나며, 선박이나

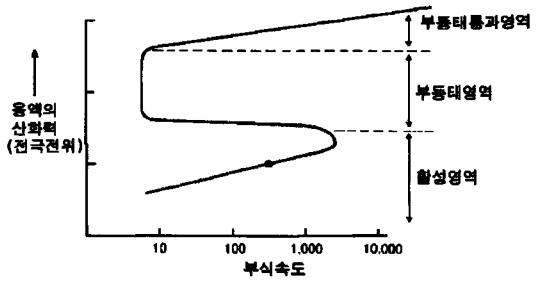


〈그림 8〉 해수중의 용존산소의 수직분포(태평양의 동부적도 영역)

연안구조물, 해양구조물 등 대부분 이 영역에 속해 있기 때문에 적절한 방식조치가 필요한 것이다.

4.2 금속의 해수부식 특성

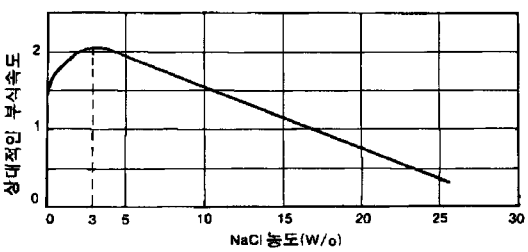
〈표 3〉의 10여개의 해수성분 중 금속부식에 가장 큰 영향을 미치는 원소는 염소이온(Cl^-)이다. 이 염소이온은 철(Fe), 크롬(Cr), 니켈(Ni), 코발트(Co), 스테인레스강 등의 부동태(passivation, 금속표면의 보호성피막)를 파괴하거나 부동태 생성 자체를 방해한다. 여기에서 부동태피막(passive film)이란 특정한 금속이 특정한 환경에서 표면에 형성되는 산화피막인데 매우 치밀하기 때문에 일단 이 막이 형성되면 외부환경과의 접촉을 차단하여 부식이 거의 발생하지 않거나, 발생한다 해도 부식성이 현저히 낮아진다. 〈그림 9〉는 전형적인 부동태 금속의 전기화학적 분극특성을 도식적으로 나타낸 것이다. 전극전위가 증가하면서 부동태 영역에서 부식속도(전류밀도)가 현저히 감소하는데 이 구간에서 치밀한 산화피막이 형성되면서 내식성을 갖게 된다.



〈그림 9〉 부동태현상을 나타내는 금속의 양극용해 분극곡선

그런데 염소이온은 다른 이온에 비해 산화물피막 내의 기공이나 결함 등을 통해 쉽게 내부 금속표면에 침입하기 때문에 결국 부동태 피막을 파괴한다. 그리고 이 염소이온에 의한 부동태파괴의 특징 중 하나는 이 손상이 금속의 전면에 걸쳐 일어나지 않고 국부적으로 발생한다는 것이다. 지난호의 3절(부식의 종류와 특성)의 틈부식과 공식부분에서 언급했던 바와 같이 국부부식은 전체적인 부식량이 아주 미량이어도 금속의 천공 등 치명적 손상을 일으킬 수 있기 때문에 균일부식보다 그 위험도가 매우 높다.

해수에는 소금(NaCl)이 중량비로 약 3.5% 용해되어 있다. 그런데 공교롭게도 이 농도의 NaCl을 함유한 용액에서 부식속도가 가장 크다. 그래서 인위적으로 만든 용액이 아닌, 자연에 존재하는 용액 중에서 해수는 금속의 부식에 가장 적합한 환경인 셈인 것이다. 염분의 함량이 계속 증가하면 부식이 증가할 것 같은데 염분량이 3.5%이상 증가하면 해수 중 용존산소의 함량이 줄어들기 때문에 부식속도는 오히려 감소하는 것이다. 〈그림 10〉은 강의 부식속도에 미치는 염분(NaCl) 농도의 영향을 나타낸 것이다. 약 3% 부근에서 부식속도가 최대치를 이루고 있음을 보여주고 있다.



〈그림 10〉 강의 부식속도에 미치는 NaCl농도의 영향

또한 유속에 따라 해수에서 발생하는 부식의 종류와 속도가 달라진다. 유속이 증가하면 금속 표면에 용존산소의 접촉이 많아지게 되어 부식에 필요한 음극반응($O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4(OH)_2$)이 증가하게 되므로 부식속도는 증가한다. 그런데 유속이 증가하면 부식의 종류는 국부부식에서 균일부식 형태로 바뀌게 되는데 이것은 유속에 의해 틈부식이나 공식과 같은 농도차에 의한 국부부식환경이 제거되기 때문이다. 그러나 유속이 더 심해지면 침식이나 케비테이션부식을 일으킬 수 있다.

일반 금속 중 해수중에서 가장 내식성이 좋은 금속은 구리와 그 합금이다. Cu-5%Al 합금이 구리합금 중에서 가장 내식성이 큰 것으로 알려져 있다. Al합금 중에서는 50XX계열이 해양선박구조물에 가장 많이 사용되고 있다. 그 중에서도 5086 Al이 가장 우수한 내식성을 가지는 것으로 보고되고 있다. 스테인레스강은 부식을 최소화하기 위해 개발된 훌륭한 내식용 합금이지만 해수중에서 내식성이 매우 좋지 않다. 따라서 사용상 많은 주의가 필요하다.

4.3 스테인레스강의 해수부식 특성

스테인레스강은 그 우수한 내식성 때문에 오늘날 광범위하게 사용되고 있다. 스테인레스강이 내식성을 가지는데 가장 주요한 원소는 크롬(Cr)이다. Cr 또는 Cr합금은 앞에서 언급한 부동태현상을 나타내기 때문에 여러 환경에서 훌륭한 내식성을 갖는다. 스테인레스강은 공기에 노출되자마자 아주 치밀한 보호성 피막인 이 부통태막(passive film)이 형성되기 때문에 널리 알려진 바와 같이 거의 부식이 진행되지 않으며 표면이 손상을 입었다 해도 공기와 만나면 빠른 속도로 산화되면서 부동태막을 형성하기 때문에 곧 그 내식성을 회복한다. 그런데 해수중에서는 예외이다. 해수중 염소이온은 부동태피막을 파괴하기 때문에 대기나 청수에서 내식성이 매우 우수한 스테인레스강도 해수중에서는 내식성이 현저히 떨어진다.

스테인레스강판에 긴 고무밴드를 감아서 해수 중에 담가 두면 밴드 아랫부분이 부식되면서 손쉽게 자를 수 있을 정도로 심한 부식손상을 일으킨다. 즉, 스테인레스강은 해수중에서 틈부식(crevice corrosion)에 매우 취약하다. (지난호 3.3절 틈부식 참조) 부식반응에 의해 틈내부의 용존산소가 고갈되면 금속이온이 더욱 쉽게 수화될 뿐 아니라 스테인레스강 표면에 생성된 부동태피막을 국부적으로 파괴시킨다. 또한 용존산소가 고갈되어 틈내부에서 더 이상의 산소환원반응($O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4(OH)_2$)이 일어나지 않아도 이 반응이 틈 외부로 옮겨져 전자의 소모반응이 계속 일어나므로 금속의 용해는 계속된다. 따라서 틈 내부의 금속이온인 양이온이 과도하게 많아지게 되면 이러한 양전하의 과잉은 틈 바깥으로부터 Cl^-이온을 틈 내부로 유인하게 되는데 이러한 Cl^-이온의 이동은 부동태피막을 파괴하면서 부식촉진제로 작용하며 틈 내부에 존재하는 H^+이온과 결합하여 강산성을 만들면서 부식을 더욱 가속화한다. 심한 경우 틈 내부의 pH는 2~3까지 저하한다.

틈 부식은 틈이 존재해야 발생한다. 틈이 있으면 틈내부는 심한 국부부식이 발생하고 틈 바

깥은 오히려 음극보호를 받게 되어 거의 또는 전혀 부식이 발생하지 않는다. 그러나 해수중 스테인레스강은 틈이 존재하지 않을 때도 틈부식과 동일한 기구(mechanism)에 의해 틈부식과 동일한 형태의 심한 국부부식을 일으킬 수 있는데 이것이 공식(pitting)이다. 앞선 호의 3.4절에서 설명한 바와 같이 어떤 원인에 의해 핏(pit)이 일단 발생하면 금속의 내부로 뚫고 들어가며 주로 중력방향으로 성장한다. 이것은 H^+ 이온과 Cl^-이온 농도가 높아짐으로 인해 핏 내부의 pH가 매우 낮아져 금속 용해를 현저히 증가시키기 때문이다.

해수중에서 스테인레스강은 틈부식과 공식 뿐만 아니라 응력부식균열(stress corrosion cracking)을 일으키기도 한다. 응력부식균열은 금속에 응력과 부식환경이 동시에 존재함으로 야기되는 균열이다. 합금의 종류별로 응력부식균열을 일으키는 환경이 다르다. 그런데 공교롭게도 해수에서 응력부식균열을 가장 잘 일으키는 금속의 하나가 스테인레스강이다. 스테인레스강이 해수환경에서 인장응력을 받게 되면 표면은 거의 손상을 받지 않은 상태에서 단지 매우 가느다란 균열이 금속표면을 통과하면서 내부로 뚫고 들어간다.

이상의 설명과 같이 스테인레스강은 대단히 훌륭한 내식성 합금임에도 불구하고 해수환경에서 틈부식, 공식, 응력부식 등 국부부식을 심하게 일으킨다. 따라서 스테인레스강을 해수중에서 가능한 한 사용하지 않는 것이 좋으며 사용할 때에서는 각별한 주의를 요한다. 〈그림 11〉은 스테인레스강의 응력부식균열 사진이다.

〈그림 11〉 스테인레스강의 응력부식균열

4.4 해양 대기부식

일반 대기중 금속의 부식을 일으키는 인자는 산소와 수분(H_2O)이다. 이러한 환경에서 대기온도가 높으면 부식은 더욱 촉진된다. 따라서 사막과 같이 건조한 곳에서는 거의 부식이 일어나지 않으며 얼음과 같이 전기전도도가 낮은 곳이나 온도가 매우 낮은 극한지방에서는 부식속도가 매우 낮다. 대기부식에 영향을 미치는 인자는 앞에서 언급한 습도와 온도이외에도 대기중 오염물질이 있다. 그래서 공업단지 등 오염물질이나 유해가스가 많은 곳에서 부식이 빠르다.

해안이나 선박과 같은 해상의 대기는 NaCl의 함량이 많으므로 전기전도도가 높아져 부식이 증가된다. 또한 해양대기 중 Cl^-이온은 앞 절에서 언급한 바와 같이 금속표면의 부동태를 파괴하는 역활을 하므로 스테인레스강 표면에 국부부식을

일으킨다. 해양환경 중에 노출된 스테인레스강의 경우 부식을 막기 위해서는 간단히 청수로 씻기만 해도 대부분의 부식을 방지할 수 있다. 즉 염분을 물로 씻음으로 염소이온에 의한 영향을 줄일 수 있다.

4.5 기타 환경 중 부식

기타 환경에 따른 부식의 종류는 토양중 수분이나 유해성분에 의해 부식을 일으키는 토중부식(soil corrosion), 지하철과 같이 고 전류가 흐는 곳에서 누설전류에 의해 일어나는 미주전류부식(stray current corrosion), 보일러나 원자로 등 온도가 매우 높은 연소실 내부에서 발생하는 고온부식(high temperature corrosion) 등이 있다. 토양부식 등 여러 환경에서 발생하는 부식의 원인 중 산소농도차에 의한 산소농담전지(oxygen concentration cell)가 있는데 여기에서 산소농도가 높은 환경과 낮은 환경이 만났을 때 오히려 산소농도가 낮은 곳이 부식된다. 이것은 틈부식이나 공식의 내부와 외부의 산소농도차에 의한 부식현상과 유사한 것으로써 토양의 경우 산소가 풍부한 모래층과 산소가 부족한 진흙층을 동시에 통과하는 금속이 진흙층이 양극화시키면서 더 많은 부식을 일으키게 되는 것이다.

5. 방식의 종류와 특성

1장에서 언급한 바와 같이 금속은 끊임없이 에너지가 낮은 안정된 상태, 즉 산화(oxidation)상태로 되돌아가려 한다. 이것이 부식(corrosion)이며 이러한 부식을 완전히 막을 수 있는 방법이란 없다. 다만 인간은 그 금속의 부식을 억제하거나 지연시켜 일정 기간 동안 사용목적에 맞게 쓸 수 있으면 되는 것이다. 그래서 금속을 방식(corrosion protection)하게 되는데, 선박의 경우 20~30년간 정기적인 점검이나 수리 등을 통해 사용할 수 있도록 설계한다.

본 장에서는 방식의 대표적인 종류와 그 특성을 설명하며 그 중 가장 근년에 개발된 금속의 전위변화에 의한 음극방식(cathodic protection)법을 보다 상세하게 다룬다. 이 음극방식법은 중대형 선박(상선)에서는 보편화되어 있는 기술이며, 도장 등 다른 방식법이 소극적인 방식법이라면 이 음극방식법은 유일한 적극적인 즉, 공격적인 방식법이라는데 그 독특함이 있다.

5.1 금속의 재질 변화

금속의 내식성을 높이는 방법으로 재질을 변화시키는 방법이 있다. 이를 세분하면 세 가지로 다시 나눌 수 있는데 이들은 금속의 조성 변화, 조직변화 그리고 응력 변화이며 이들을 간단히 설명하면 다음과 같다.

1) 조성(composition)의 변화

부식에 유효한 합금원소를 첨가하거나 불순물을 제거하는 등의 정련을 통해 금속의 내식성을 향상시키는 방법이다. 이에는 (1)스테인레스강과 같이 강에 Cr과 Ni 등의 원소를 첨가하여 금속표면을 부동태화시키는 방법, (2)귀금속 원소(Pt, Ag, Pd 등)를 첨가하여 내식성을 향상시키는 방법, (3)스테인레스강의 입계부식을 막기 위해 첨가하는 Ti, Ta, Nb 등이나 고

온에서 강의 유황(S)에 의한 적열취성을 막기 위해 첨가하는 Mn, Cu 특별한 목적을 위해 특정 원소를 참가하는 방법, 그리고 (4)부식억제제 역할을 하는 원소를 첨가(황동에 탈아연부식을 막기 위한 As, Sb, Sn 등 첨가)하는 방법이 있다.

2) 조직(structure)의 변화

금속의 조직의 변화는 주로 열처리에 의해 이루어진다. 금속의 내식성을 증가시키기 위한 열처리 종류에는 부식을 일으키는 금속간화합물이나 탄화물 등을 분해시키는 풀림(annealing)을 포함한 담금질(quenching)이 있다. 또한 스테인레스강의 입계부식을 방지하기 위해 용체화처리(solution heat treatment)도 여기에 해당된다.

3) 응력(stress)의 변화

금속의 내부에 걸려 있는 응력은 부식환경에 노출되었을 때 응력부식균열(stress corrosion cracking)이나 수소취성(hydrogen embrittlement) 등의 손상을 가져올 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 열처리 또는 냉간가공 등을 통해 응력제거가 필요하다. 일반 탄소강의 응력제거 풀림은 600~650℃ 정도에서 행해진다.

4) 합금의 선택

합금을 선택하는데 있어, 먼저 금속-부식용액 간의 최대 내식성 조합을 이루도록 하는 것이 필요하다. 최대 내식성을 이루는 조합을 몇 가지 소개하면 다음과 같다.

- 스테인레스강 - 질산
- Ni 합금 - 알칼리 용액
- 하스텔로이(Hastelloy) - 높은 온도의 염산
- 강 - 진한 황산
- Ti(티탄) - 높은 온도의 강산화용액
- Sn - 증류수

상기 이외에도 경제적이며 내식성이 좋은 금속-부식용액 조합은 부식 핸드북 등에 다수 소개되어 있다. 따라서 부식이 예상되는 환경에 사용할 금속의 종류를 정할 때 강도 등과 함께 가장 내식성인 종류를 정하기 위해서는 여러 문헌을 통해 충분히 검토해야 한다.

5.2 부식 환경 변화

사용 환경이 부식성이 있다면 환경을 바꿈으로써 금속을 방식할 수 있다. 이러한 환경변화 방법은 크게 두 가지가 있는데, 부식성분 제거와 부식억제제 사용이다. 이들을 간략히 설명하면 다음과 같다.

1) 부식성분의 제거

환경 중 부식에 가장 큰 영향을 미치는 것은 산소(oxygen)이다. 따라서 산소의 제거는 부식성을 현저히 감소시킬 수 있는 가장 중요한 방법이다. 자연수 중에서 산소는 용존상태로 존재한다. 이러한 용존산소의 제거는 적절한 기계장치나 화학반응을 통해 이루어지는데 기계로는 증류(distillation)장치나 탈기(deareation)장치가 있으며, 화학반응에는 아황산나트륨이나 하드라진(hydrazine, N_2H_4)와 같은 산소제거제(oxygen scavenger)가 사용된다. 보일러, 열교환기(냉각기, 복수기 등)의 내부 부식을 방지하기 위해서 상기의 방법이 단독 또는 이중으로

사용된다.

용존산소의 제거외에도 중화에 의한 산(acid)의 제거(석회첨가), 염(salt)의 제거 등도 부식을 감소할 수 있는 주요한 방법이며, 공기 중의 상대습도를 낮추거나, 수용액 또는 공기 중의 고체입자를 제거하는 방법도 이에 속한다.

2) 부식억제제(corrosion inhibitor)의 사용

부식억제제(corrosion inhibitor)란 부식용액 속에 첨가함으로써 부식속도를 줄이는 물질을 말한다. 이에는 금속의 용해반응인 양극반응을 억제하는 양극억제제(anodic inhibitor)와 양극과 대응반응인 음극반응을 억제하는 음극억제제(cathodic inhibitor)가 있으며 또한 이 두 양극과 음극반응이 적절히 혼합된 혼합억제제(mixed inhibitor)가 있다. 이들 부식억제제를 간단히 소개하면 다음과 같다.

양극억제제는 금속인 양극표면에서 발생하는 부식(양극)반응을 억제하거나 보호피막을 형성하여 부동태화하는 물질로 정인산염, 규산염, 아질산염 등이 있다. 음극억제제는 음극표면에 화학적 또는 전기화학적으로 침전하여 음극표면을 전해액과 차단시키므로 용존산소의 소모반응과 같은 음극반응을 억제하는 물질로 석회(lime), 다인산염 등이 있다. 상식적으로 경수가 연수에 비해 부식성이 적다고 알려져 있는데 이것은 경수에 석회분이 첨가되어 피막을 형성하므로 음극반응을 억제하는 확산장벽층으로 작용하기 때문이다. 그리고 다인산염은 보일러 용수에 첨가되어 비교적 두꺼운 피막을 형성하므로 보일러내부 강판의 부식을 억제한다. 그리고 혼합억제제는 양극과 음극억제제의 특성이 결합하여 나타나는 형태로 아질산염, 크롬산염과 같은 산화제(oxidizing agent)와 정인산염, 규산염과 같은 비산화제(nonoxidizing agent)의 혼합으로 구성된다. 한 예로 아질산염 + 안식향산염은 자동차의 라디에이터(radiator)에 효과적인 부식억제제로 사용되고 있다.

이들 세 종류 이외의 부식억제제로는 유기산과 같은 금속표면에 흡착되어 양극이나 음극반응을 억제하는 흡착억제제(adsorption inhibitor)와 밀폐된 공간에서 증발하여 금속 표면에 부착함으로써 부식을 감소시키는 휘발성 기상억제제(volatile corrosion inhibitor)가 있는데 후자는 물자의 운송이나 저장 중 금속재료의 발청방지용으로 사용되고 있다.

5.3 피복 방식

피복 방식은 금속표면이 환경과의 접촉을 차단시킴으로써 부식을 막거나 억제하는 방법으로 피복하는 물질에 따라 유기피복, 무기피복 그리고 금속피복으로 나눠진다. 전자의 두 종류는 비금속피복이며, 유기피복은 일반적인 페인트로 잘 알려져 있다. 방식법 중 피복법은 가장 긴 역사를 가지고 있으며, 선박에서도 이 피복은 필수불가결한 방식법이다. 이들 피복에 대해 보다 상세히 알아보며 또한 피복 시 가장 중요한 기술 중의 하나인 전처리방법에 대해 기술한다.

1) 유기피복 (organic coating)

유기피복에 사용되는 도료(paint)와 라커(lacquer)는 금속의 부식방지에 가장 적용하기 쉽고 중요한 방법이며 또한 가장 효과적인 방법이기

도 하다. 이러한 유기피복은 액체상태의 도료를 금속표면에 바르고 건조과정을 거치게 되는데 적절한 과정을 거친 도료는 고체로 굳어지면서 금속표면에 밀착성이 강하고 훌륭한 피복을 형성하게 된다.

(1) 도료의 구성성분

일반적인 도료 및 라커에는 다음과 같은 네 가지 성분이 있다. 첫째는 결합제(binder)인데 안료(pigment)와 결합해서 도료피막을 형성하는 성분으로 소지금속에 흡착성을 갖게 한다. 이 흡착성이 좋지 않은 경우 가소제(plasticizer)를 첨가하기도 한다. 둘째, 안료(pigment)인데 물이나 용매에 용해하지 않는 색깔이 있는 분말로 도료에 필요한 색을 내거나 불투명하게 한다. 도로피막을 결합시키는 역할을 하기도하며 도료에 경도나 강도와 같은 기계적 성질을 부여하기도 한다. 셋째는 용제인데 수지나 아교와 같은 결합제가 굳지 않고 액체상태를 유지하기 위해 섞는다. 점도가 낮은 유성도료를 사용하는 경우는 안료를 사용하지 않아도 되나 일반적으로 안료는 도료의 적응성을 높이거나 흡착성을 향상시키는 중요한 역할을 한다. 마지막으로 희석제(thinner)이다. 이것은 도료의 점도를 낮추어 작업성을 좋게 하기 위해 첨가되는 것으로 휘발성이다. 따라서 건조 후에 희석제는 도료에 남아있지 않게 된다.

(2) 도료의 종류

도료는 성분과 용도에 따라 여러 가지로 분류된다. 주요 종류를 살펴보면 우선 도료피막의 구성성분에 따라 유성도료, 수성도료, 합성수지도료로 분류할 수 있으며, 도료의 성질이나 상태에 따라 속건성도료, 소성도료, 자반응도료로 분류하기도 한다. 또한 도료피막의 성능에 따라 방수도료, 내습도료, 고온도료, 선저도료 등으로 나누기도 한다. 넓은 의미의 도료는 유기피복 전체를 의미하며 좁은 의미로는 유성도료만을 가리킨다.

(3) 도료의 적용방법

유기피복(organic coating)을 적용할 때 3가지 중요한 사항은 (a)금속 표면 준비, (b)프라이머(primer)의 선택, (c)겉피복(top coat)의 선택이다. 이러한 항목들이 적절히 구비되지 못하면 금속표면과 도료간의 결합력이 부족하게 되어 도료가 벗겨지거나, 프라이머의 흡착력이 약해져 겉피복과 잘 결합하지 못하게 되면 도료의 수명을 단축한다. 이 항목들을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

(a) 금속표면 준비(metal surface preparation)

금속표면이 깨끗하지 못하고 먼지, 녹(rust), 밀스케일(mill scale), 용접 용제, 유지류 등의 불순물이 있으면 도료의 부착력이 떨어진다. 또한 금속표면이 적절한 표면 거칠기(roughness)를 가지지 못한 경우도 도료의 결합력을 충분히 얻기 어렵다. 따라서 샌드블라스트(sand blast), 그릿블라스트(grit blast), 그라인딩(grinding), 산세(pickling) 등을 통해 깨끗하고 적절한 표면 거칠기를 얻도록 해야 한다. 특히 이들 방법 중 샌드블라스트가 가장 좋은 방법으로 알려져 있으나 작업성이 문제가 될 수 있기 때문에 현장 조건에 맞게 적절한 방법을 선택해야 한다.

(b) 프라이머(primer)

도료 작업 중 가장 먼저 칠하는 것으로 금속에 직접접촉하기 때문에 방식성에 큰 영향을 준다.

이에는 크롬산아연, 아연분말과 같은 부식억제 제로서의 안료가 이에 속하는데 틈이나 표면결함 등이 채워지도록 어느 정도 흡습성이 있는 것이 좋다. 겉피복(top coat)을 입히기 전 프라이머의 오염을 막기 위해 프라이머의 건조시간은 가능한 한 짧을수록 좋으며 옥외작업 시 더욱 그러하다.

(c) 겉피복(top coat)

도료의 목적과 두께를 고려하여 겉피복의 종류를 선정한다. 외관과 도막의 수명을 고려하여 도막의 두께와 횟수를 결정한다. 또한 도료에는 기공이나 결함을 완전히 배제할 수 없기 때문에, 적절한 피복을 위해서는 도료의 종류와 두께에 따른 작업성을 고려해야 하며, 또한 시간에 따라 도막이 마모됨을 감안해야 한다.

2) 무기피복 (inorganic coating)

무기피복은 비금속피복(non-metallic coating)이라고도 하는데 비금속은 원천적으로 부식되지 않기 때문에 치밀하게만 피복할 수 있다면 금속표면에 상당히 효과적이다. 이러한 방법에는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 하나는 소지금속에 관계없이 금속표면을 피복하는 방법이고 또 하나는 금속표면에 부식생성물을 생성시켜 표면을 피복하는 방법인데, 전자를 유기질 에나멜피복이라 하고 후자를 화성피복이라 한다.

3) 금속피복 (metallic coating)

대부분의 금속피복은 전기도금(electroplating)이나 용융도금(hot dipping)이다. 전기도금은 금속표면에 내식금속을 음극환원에 의해 석출시키는 방법이다. 피복 두께가 충분치 못하면 소지금속이 완전히 피복되지 못하므로 두께를 고려하여 소지금속과 피복도금사이의 전위와 시간을 정한다. 용융도금은 저융점 금속을 용융하고 그 속에 금속을 담갔다가 꺼냄으로 금속표면에 합금층을 형성시키는 방식법이다. 이들 이외에도 화학도금과 용사법이 있는데, 화학도금(chemical plating)은 전기를 이용하지 않고 금속염수용액 중에서 화학적으로 피복하는 도금인데 이것을 무전해도금이라 부르기도 한다. 용사법은 공기분사에 의해 용융금속을 금속표면에 부착시키는 방법이다. 이때 피막은 다공성이지만 대단히 흡착성이 강하고 두께도 조절이 가능하기 때문에 이미 설치된 구조물의 피복에 많이 이용된다. 용융도금에는 특히 아연을 많이 사용하는데 이것은 아연이 철강재료에 대해 부식성이 상대적으로 높아 희생양극으로 철강재료를 보호해 주기 때문이다. (이어지는 5.4에서 상술함)

5.4 금속의 전위 변화

금속의 부식은 전기화학적(전자반응 + 화학반응) 현상에 의해 발생하기 때문에 전위(에너지)를 변화시킴으로써 금속부식의 현상을 조절할 수 있다. 지난 호 Fig. 3(철의 전위-pH도)에서 언급했던 바와 같이 철의 부식을 막는 방법 중 전위변화에 의한 방법으로는 전위를 높여 부동태화 하는 양극방식(anodic protection)과 전위를 낮추어 안정역으로 가져감으로써 방식하는 음극방식(cathodic protection)이 있다. 이 두 방식법 중 해양환경에서는 음극방식만이 적용될 수 있으며 철강재료를 사용하는 중대형 선박이나 해양구조물 등에는 필수불가결한 방식법이 되었다. 따라서 본 원고에서는 음극방식만 다루기로 한다.

1) 음극방식(cathodic protection)의 원리와 종류

음극방식은 19세기초에 영국의 Humphrey Davy라는 해군장교에 의해 사용되기 시작한 이래로 해수 중 또는 지중에서 없어서는 안 될 방식법이 되었다. 금속방식의 역사를 돌아볼 때 이 음극방식법은 가장 최근에 개발된 방식법이며, 피복 등 다른 방식법이 수동적, 방어적 방식법인데 비해 이 음극방식만이 유일하게 능동적, 공격적 방식법이다. 이 말은 다른 방식법은 부식이 일어나는 환경을 바꾸거나 차단시킴으로 방식하는 방법인 반면, 음극방식법은 환경을 그대로 두고 금속부식의 근본 원인인 전자의 흐름을 전지나 전원에 의해 바꾸어 놓음으로써 방식하고자 하는 방법이다. 따라서 이 음극방식법은 전자의 흐름을 바꾸는 방법 즉 전원을 공급하는 방법에 따라 두 가지로 나눠지는데 이들은 희생양극식 음극방식(sacrificial anode cathodic protection)과 외부전원식 음극방식(impressed current cathodic protection)이다. 이들은 상세히 설명하면 다음과 같다.

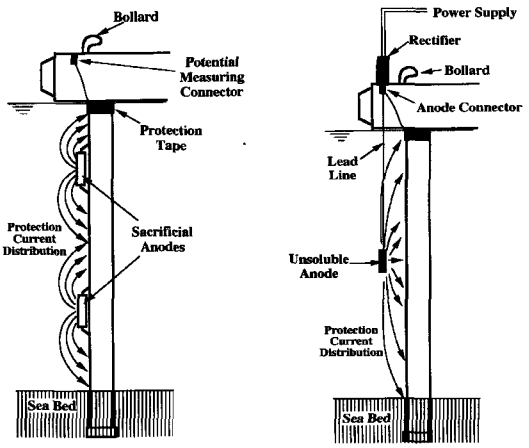
(1) 희생양극식 음극방식(sacrificial anode cathodic protection, SACP)

희생양극식 음극방식은 방식하고자 하는 금속(철강)보다 더 부식성이 높은 금속(희생금속, 아연 또는 알루미늄)을 서로 연결함으로써 방식하는 방법이다. 소형 선박에서 강선의 경우 아연양극에 의해 방식하는 경우가 많은데 선체인 철강을 방식하기 위해 철강보다 더 부식성이 강한 아연을 부착함으로써 철보다 먼저 아연이 부식하면서 철에 전자(아연이 부식하면서 만들어진 전자)를 공급하여 줌으로써 철의 부식을 막는다. 〈그림 12(A)〉는 항만부두 강파일에 적용된 희생양극식 음극방식의 예이다. 희생양극(sacrificial anode)이 용접되어 있으며 이 희생양극이 먼저 부식되면서 화살표와 같은 방식전류를 공급하므로 강파일을 방식하게 되는 것이다. 따라서 적절한 종류와 크기의 희생양극을 방식하고자 하는 곳에 부착하면 방식할 수 있는 비교적 손쉬운 방식법이다. 해수중에서 이러한 희생양극으로는 아연합금(Zn-Al-Cd)이나 알루미늄합금(Al-Zn-In)이 주로 사용된다. 이 희생양극식 음극방식은 시설이 간편하며, 전기전원을 얻기 어려운 곳이나 소형시설의 유리하다.

(2) 외부전원식 음극방식(impressed current cathodic protection, ICCP)

외부전원식 음극방식은 방식전류의 공급을 전기 전원으로부터 얻어 강제적으로 공급하는 방식법이다. 즉, 〈그림 3〉(지난호 2.4 전위-pH도)의 전위를 낮추어 방식하기 위해 전기를 외부전원 즉 전기 공급원으로부터 얻어 공급한다. 대개 전기전원은 교류(AC)이기 때문에 정류기를 이용하여 직류(DC)로 바꾸어 공급한다. 이러한 전원공급을 위해서는 전극이 있어야 하는 이 전극은 장기간 손상 없이 전류를 공급할 수 있어야 하기 때문에 불용성금속(백금, 납, 탄소, 니켈, 나이오비움)을 사용한다. 〈그림 12(B)〉는 항만부두의 강파일 방식에 외부전원식 음극방식을 적용한 예이다. 전원(power supply)이 공급되면 정류기(recitifier)에서 교류가 직류로 변환되어 불용성양극(unsoluble anode)을 통해 강파일에 공급된다. 방식전시스템이 작동되기 위해서는 정류기의

음극이 강파일에 연결(anode connection)되어 있어야 한다. 이러한 외부전원식 음극방식은 대형 선박이나 지중방식에 많이 적용되고 있으며 이 방식법은 한번 설치하면 전원장치에 이상이 없는 한 반영구적으로 사용할 수 있기 때문에 중간 보수작업이 곤란한 시설에 주로 사용된다.



(A)희생양극식 (B)외부전원식

〈그림 12〉 두 종류의 음극방식 적용 예 - 항만부두 강파일 방식

2) 음극방식의 기준 및 응용

음극방식은 방식하려는 금속보다 전위를 상대적으로 낮게 유지함으로써 방식하게 되는데 해수중 철의 전위가 약 -0.66V(염화은 전극기준)인데 일반적으로 알려진 음극방식 전위는 약 -0.8V 정도로 알려져 있다. 따라서 희생양극식이든 외부전원식이든 철의 전위를 -0.8V이하로 낮출 수 있으면 방식상태에 있게 되는 것이다. 적정방식을 위해서는 양극의 크기, 개수 및 위치를 적절히 설정해야 하며 외부전원식의 경우 공급전류를 조절해야 한다.

강선은 피복(페인트)과 음극방식을 병행하게 되는데 전체 방식효과를 보면 두 방식법을 병행할 때 피복방식이 70~80%의 방식효과가 있고 그 나머지 부분에 대해 음극방식이 작용하게 된다. 피복이 없는 경우 음극방식에 필요한 방식전류가 많이 필요하기 때문에 그 만큼 음극방식이 어려워진다. 그러나 피복만으로 완전방식을 하려할 때 피복의 두께가 대단히 두꺼워야 하며 장기간 방식도 어렵기 때문에 비효과적이다. 따라서 적절한 피복과 음극방식을 병용할 때 가장 경제적이며 최적 방식을 유지할 수 있다.

음극방식을 사용하는 곳은 선박뿐만 아니라 지중, 대형 저장탱크 등 다양하다. 음극방식은 방식해야할 곳에 직접 작업이 필요하지 않고 지리적으로 떨어진 위치에서도 방식시설이 가능하며 적절한 방식 전류를 보냄으로써 방식할 수 있기 때문에 다른 방식법에 비해 공사비가 비교적 저렴하다. 그리고 방식전위를 유지하고 있는 한 부식발생이 정지되기 때문에 피복과 같이 시간이 지나면서 상태가 나빠지는 방식법에 비해 기술적인 측면에서 매우 유리하다. 그러나 이 방식법은 최적 방식을 위해 상당한 기술인 노하우가 있어야 하기 필요하기 때문에 설계부터 시공, 운용에 이르기까지 전문가의 도움이 필요한 단점이 있다.

5.5 방식설계

기계, 건축물 또는 구조물을 설계하는 사람들은 우선 구조적 측면에서 시설물의 목적에 맞는 강도를 갖도록 설계해야 한다. 다음 부식적인 측면에서 설계를 검토하게 되는데 기본적인 개념만 고려하여도 방식상 유리한 점이 많으며 수명이 현저히

향상될 수 있기 때문에 방식설계의 기본을 아는 것은 매우 중요하다. 이에 대해 간략히 기술한다.

1) 방식설계상 기본 조건 설정

적절한 방식설계를 위해서는 아래의 기본 조건을 설정하고 이에 대한 정보를 알아야 한다.

- 구조물(장치)의 용도는 무엇이며, 예상 수명은 얼마인가?
- 유지 및 수리하기 쉬운가?
- 구조물이 사용될 환경의 부식성은 어떤가?
- 어떤 종류의 부식이 발생할 것으로 예상되는가?
- 부식피로나 응력부식의 위험성은 없는가?
- 고온, 고압, 고유속 등의 환경적 위험은 없는가?
- 구조물을 피복하는 경우 피복의 종류/수명 및 표면처리는 어떻게 할 것인가?
- 음극방식 또는 부식억제제 등을 단독 또는 병용할 수 있는가?

2) 방식설계의 원칙

금속구조물의 부식 한계치는 구조적 위험이 발생하는 두께이하이어야 하며, 이때 또한 안전계수를 고려하여 설계해야 한다. 그리고 두께감소만을 고려 할 수 없는 국부부식의 가능성 등 여러 가지 사항을 고려해야 한다. 방식의 관점에서 적용되는 일반적인 설계의 원칙들을 정리하면 다음과 같다.

(1) 형상을 단순하게 설계할 것

형상이 단순할수록 표면처리나 부식의 위험성이 적어진다.

(2) 배수 및 소제가 쉽도록 설계할 것

부식의 가장 큰 원인이 되는 물이 고이지 않도록 하거나 어쩔 수 없는 경우라면 소제가 쉽도록 설계함으로서 부식성물질을 정기적으로 제거할 수 있다.

(3) 갈바닉부식(galvanic corrosion)을 고려하여 설계할 것

서로 다른 두 금속이 접촉하는 경우 어느 한쪽(전위나 낮은 쪽)이 부식되는 갈바닉부식이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 두 금속의 접촉은 가능한 한 피해야 하며, 두 금속간의 전위차가 클수록 갈바닉부식이 더 심해지므로 더욱 그리해야 한다.

(4) 접합에 주의하여 설계할 것

금속의 접합 방법 중 리벳에 의한 접합은 틈(crevice)이나 홈(pocket)에 의한 부식의 원인이 될 수 있으므로 가능하면 용접하는 것이 좋으며, 서로 다른 금속간의 접합에는 소양극-대음극(지난호 갈바닉부식에서 설명)의 위험이 발생하지 않도록 하고 어쩔 수 없는 경우라면 대양극-소음극의 접합이 되도록 한다.

(5) 사용시 손상이 우려되는 부품은 교체가 쉽도록 설계할 것

(6) 부식환경에 있는 부품은 과도한 응력을 받지 않도록 할 것

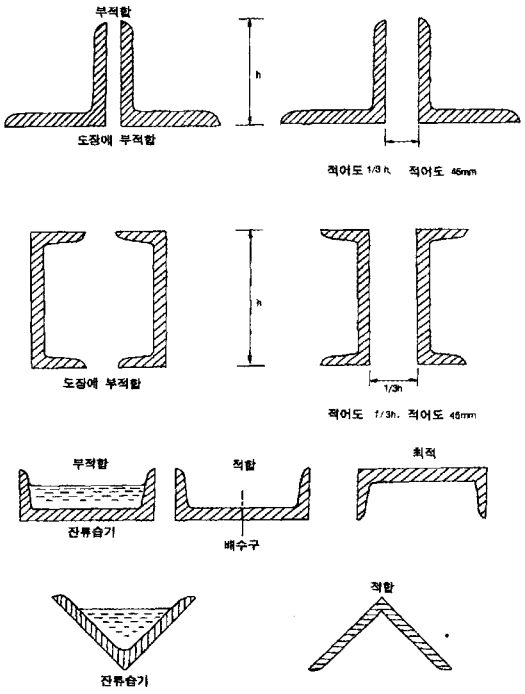
부식환경에서 응력까지 받게 되면 응력부식균열이 발생하면서 치명적인 손상을 일으킬 수 있다.

(7) 열전달장치, 열교환기 등에서는 온도차가 가능한 한 적게 되도록 설계할 것

부식환경 중에서 온도차가 커지면 온도차전지에 의한 부식이 가속될 수 있다.

(8) 가능한 불균질을 피하도록 설계할 것

갈바닉, 온도, 응력 등의 차에 의한 불균질 뿐만 아니라 용액의 농도, 용존산소 등의 차에 의해서도 부식이 발생할 수 있다. 따라서 부식환경 중에 노출된 부분은 되도록 균질이어야 한다. 〈그림 13〉은 방식설계의 몇 가지 예를 그림으로 보여준 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 도장작업이 잘 되도록 하거나, 물이 고이지 않도록 해야 하며, 구조물의 간격이 너무 가까워도 작업성이 나빠지므로 피해야 한다.



〈그림 13〉 방식설계의 예

6. 선박의 방식과 방오

강재 선박은 염분이 높은 고전도성 해양환경에서 항행하기 때문에 해수 및 염분함량과 다습한 대기에 의한 부식 등이 매우 심하다. 특히 선체외판의 부식은 수리비의 과중한 증가를 가져올 뿐만 아니라 선박의 안전성도 위협하면서 수명을 단축시킨다. 또한 선체에는 해중생물이 부착함으로서 선박의 운항속도를 저해하거나 선체부식손상의 원인이 되기도 한다.

따라서 선박에 사용되는 금속은 적절한 방법으로 방식(corrosion protection)해야 하며 선체의 경우도 해중생물의 부착을 방지하는 방오(anti-fouling)를 하지 않으면 연료비 증가 등 경제적면이나 균열 등 안전상의 측면에서 심각함 문제로 확대될 수 있다.

선저에 부착하는 해중생물을 살펴보면 대부분 동물이며, 따개비류와 관덮개지렁이류가 주종을 이룬다. 이들은 부착성장 하다가 죽어도 선체에 붙어있기 때문에 다른 생물들의 부착발판이 된다. 해중생물의 부착이 가장 활발한 계절은 5월부터 8월까지이며 해수온도가 23~25℃일 때 가장 심하다. 이들 생물들은 정박 중 선체에 부착하기 쉬우며, 실험에 의하면 3.75knot 이상으로 항해하면 거의 부착하지 못한다고 알려져 있다. 이러한 해중생물이 선체에 부착되면 선체저항을 증가시켜 선속을 떨어뜨리며 도막을 손상시켜 선체강판의 부식을 촉진한다.

이러한 선체의 방식에는 1차적으로 도장을 하게 되며, 2차적으로는 음극방식하는 2중 방식시스템이 보편화되어 있다. 이에 대해 살펴본다.

6.1 선박의 도장방식과 방오

선박의 도장은 선박의 기능 및 용도에 따라 적절한 도료를 선택하여 도장한다. 선체의 주요부에 대한 도장의 요점은 다음과 같다.

1) 선체각부의 도장

선저부는 해수에 의한 극심한 부식을 막기 위한 녹방지용 도장과 해중생물로부터 선체를 보호하기 위한 방오도료가 필요하다. 부착생물은 해역, 수온, 조류, 해수농도 및 계절에 따라 다르나 공통적으로 선체에 부착함으로써 운항속도를 저하하고 연료소비율을 증대하게 되므로 선저보수를 위해 조기 입거(docking)하게 된다. 따라서 녹방지도료(anti-corrosion paint)를 칠한 다음 이산화동이나 유기방오제를 함유한 방오도료(anti-fouling paint)를 도장한다.

수선부는 침수부와 폭로부의 건습반복 작용에 의해 선저부 이상으로 극심한 부식을 받는 부분인 동시에 부유물 및 접안시설 등에 의한 충돌을 받는다. 선체의 보수도장에는 녹방지 도료와 함께 고 내수성, 내후성 및 내충격성 도료를 사용해야 한다. 외현과 갑판은 해수의 비말에 의해 습기가 있으며 강렬한 자외선을 받는 부분이다. 그리고 외관도 중요하므로 녹방지 도료 후 광택, 색채 그리고 마모손상에 견딜 수 있는 도료를 칠한다.

선박도장의 중요한 또하나는 각종 탱크이다. 원유탱크, 발라스트탱크, 화물탱크, 음료수탱크 등이 있는데 원유탱크의 경우 유황분이나 산, 염류 등의 원유 중 유해원소에 견딜 수 있는 도장이 필요하며, 발라스트탱크는 해수부식과 선체의 뒤틀림이나 해수의 동요에 의한 부식피로에 견딜 수 있는 도료가 필요하고 전기방식(음극방식)도 병행하여 설치한다. 화물탱크는 화물의 종류에 따라 부식방지 또는 화물의 오손방지, 내용제성, 내약품성 도료를 사용한다.

2) 선박도료의 종류와 특성

(1) 유성 및 유변성 도료(alkyd resin paint)

알키드수지도료가 이에 속하는데 알코올과 다염기산의 혼합물을 지방유 또는 지방산으로 변성한 도료이다. 이 도료의 특징은 건조성이 좋고 내기후성 광택이 월등이 좋기 때문에 선박의 수몰부 외의 장소에 많이 사용되나 결점으로는 내수성이 약하여 수분 습기가 많은 곳에서 사용하지 않는 것이 좋다.

(2) 염화 고무계 도료(chlorinatied rubber paint)

선박용 도료로서 상부 강재구조물에 사용되는 염화고무계는 도료 중 용제가 증발하여 건조 도막을 만들므로 빠르게 건조하는 성질을 가지고 있으며 내수성, 내알카리성에 강하고 후막을 얻을 수 있다. 따라서 이중, 삼중으로 칠하여도 도막간의 부착성이 좋은 특성을 가지고 있다. 종류로는 염화고무와 가소제로 구성된 것과 염화고무에 합성수지나 바니스를 섞은 두 가지가 있다.

(3) 비닐 수지도료(vinyl paint)

비닐수지도료는 염화비닐을 기본으로 한 도료로 염화고무계와 유사하다. 도막의 용제가 증발하여 건조도막을 만드는 속성 건조 특성을 가지고 있으며 내수성, 내약품성 및 내후성이 좋으나, 도막의 두께가 얇은 것이 결점이다. 강재표면에 대

한 부착성이 떨어지기 때문에 도장에 앞서 프라이머 도장이 필요하며 습도가 높을 때에는 가능한 한 도장을 피해야 한다.

(4) 에폭시 수지도료(epoxy paint)

결속제(binder)인 에폭시수지와 경화제(hardener)인 폴리아민 수지 등이 주성분으로 경화도막은 밀착성, 방식성, 내충격성, 내마모성, 내약품성을 모두 갖춘 우수한 도료이다. 기존의 선박용 도료에서는 얻을 수 없는 특성이었으나 현재에는 가혹한 해양환경에는 가장 적합한 선박도료로 평가받고 있다. 결점은 옥외폭로 시 표층에서 에폭시수지가 흘러내리는 현상이 있으나 현재는 아크릴수지 등에서 변성시켜 안티새깅(anti-sagging)으로 개량된 도료가 개발되어 사용하고 있다.

(5) 탈에폭시 수지도료(tar-epoxy paint)

탈에폭시수지도료는 역청질의 장점인 내수성 및 경제성과 에폭시수지의 장점인 밀착성, 강인성 및 내약품성을 조합한 도료이다. 즉 탈에폭시수지도료는 역청질 및 경화제를 주성분으로 하고, 이들의 혼합으로 우수한 밀착성, 방식성, 내충격성, 내마모성 및 내염수성을 지닌 우수한 도료이다. 역청질의 함유로 색상은 제한되나 해수밸러스트탱크에 적합한 도료이며 에폭시수지에 비해 저가이다.

(6) 무기아연 도료(zinc-silicate paint)

선박의 도장은 미관은 물론 방식, 방오의 목적도 있으므로 또한 기능과 경제성이 균형을 이루어야 한다. 무기아연도료는 이러한 방식, 방오의 목적을 위해 개발된 도료이다.

6.2 선박의 음극방식

강재선박의 선저 도장방식은 음극방식(전기방식으로 더 잘 알려져 있음)과 병행할 때 더욱 효과적이다. 방식의 비율 면에서 볼 때 도장방식이 전체방식의 약 80%를 차지하고 그 나머지 부분에 해당하는 약 20%정도의 방식을 음극방식이 담당한다. 음극방식에 의한 방식비율이 비교적 낮지만 음극방식이 병행되지 않으면 도장방식도 수명이 오래가지 못한다. 따라서 선체의 방식은 이 두 가지 방식을 병행하지 않으면 안 된다. 음극방식은 세분하면 앞에서도 언급한 바와 같이 희생양극식과 외부전원식으로 나뉜다. 선박에서의 이들 방식법을 설명한다.

1) 선박의 희생양극식 음극방식

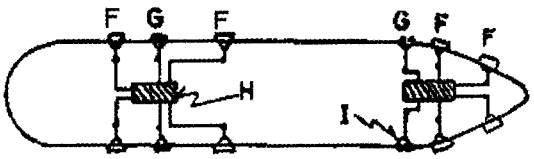
해수중 음극방식용 희생양극(sacrificial anode)에는 아연과 알루미늄이 쓰이는데 선박에는 아연양극이 더 많이 사용된다. 아연(Zn)양극은 순금속 또는 합금상태로 사용된다. 아연합금양극은 전류효율이 90%이상이고 발생전기량이 740~780 Ah/kg 정도이며 전통적으로 선박에 많이 적용되어 왔다. 선체방식용 아연판은 크기가 200mm*100mm*20mm의 소형선용으로부터 300mm*150mm*30mm의 중형선용까지 다양하다. 현재 대형선에서는 주로 다음에 설명하는 외부전원식 음극방식(ICCP)을 채용하고 있다. 선체에 붙이는 아연양극은 선박운항시 유체저항을 줄이기 위해 세장형으로 부착하며 선박의 수중부에 적절한 방식전류 분포를 갖도록 배열한다. 선박의 발라스트탱크 방식도 대부분 아연양극을 사용하는데 발라스트탱크와 같이 폐쇄된

부분에서 알루미늄양극이나 외부전원식을 사용하는 경우 전기발생량이 커져 수소가스의 발생이 우려되기 때문에 가장 안전한 아연양극을 사용한다. 양극의 크기와 부착 개수는 선박의 크기 및 선형에 따라 최적 방식이 될 수 있도록 설계하는데 최근 대형선박에는 이 방식설계를 수치해석에 의한 컴퓨터 시뮬레이션을 도입하여 설계를 하기도 한다.

2) 외부전원식 음극방식

선박의 크기가 대형화되고 선박의 정기검사 기간이 길어지면서 희생양극에 의한 방식의 한계를 극복하기 위하여 외부전원식 음극방식(impressed current cathodic protection, ICCP)이 도입되기 시작했으며, 최근에는 대형선 뿐 아니라 중형선에 이르기까지 외부전원식이 점차 확대되고 있다. 과거 선박의 입거수리는 2~3년 정도였으나 현재는 3~5년에 이르고 있기 때문에 이러한 장수명의 희생양극을 선체에 붙인다는 것은 선박무게의 증가 뿐 아니라 선체의 마찰저항의 증가로 등 여러 가지 문제가 발생할 수 있으며, 장기간 사용할 수 있는 외부전원용 양극이 개발되었기 때문에 ICCP의 도입이 증가되고 있다.

외부전원식 음극방식장치에는 선체에 붙어 방식전류를 공급하는 불용성양극(unsoluble anode)과 선체의 방식전위를 측정하는 기준전극(reference electrode)이 있으며, 선내에는 양극에 전원을 공급하는 정류기(rectifier)가 설치된다. 외부전원식 방식양극에는 백금도금 Ti전극, MMO(mixed metal oxide) 처리된 Ti양극 등 우수한 양극이 개발되고 있으며, 이들의 수명이 10~20년 정도로 알려져 있다. 이 전원공급용 양극은 원판상으로 선저와 절연 상태에서 선저에 돌출되지 않도록 부착되며, 양극의 갯수는 선박의 크기에 따라 4~6개 정도가 보통이다. 〈그림 14〉는 선박의 전형적인 외부전원식 음극방식 배치도이다.



(F: 불용성양극, G: 기준전극, H: 자동제어 전원장치, I: 수밀상자)

〈그림 14〉 외부전원식 방식장치의 구성

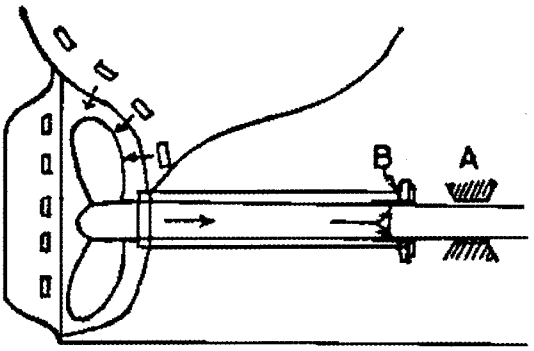
3) 선저의 음극방오

선저의 방오에는 유기독물이나 무기독물을 첨가한 A/F(anti-fouling)도로가 주로 사용되어 왔으나, 이들 A/F도료의 수명이 한계가 있고 장기간 무입거 운항이 요구되기 때문에 음극방식으로 방오를 겸하려는 노력이 시도되어 왔다. 일반적인 음극방식을 위한 방식설계 전류밀도인 10mA/m2는 너무 작아 방오효과를 거의 기대할 수 없기 때문에 이에 대한 새로운 방법이 강구되고 있다. 해양생물에 대해 염소가스를 이용한 방오가 발전기의 복수기 해수냉각계통에 오래전부터 사용되어 왔으며 선박에도 적용되고 있다. 이 음극방오는 해수냉각계통과 같이 폐쇄된 곳에서 상당히 효과적이나 선체와 같이 개방된 곳에서의 적용은 아직도 연구가 필요한 실정이다.

6.3 추진기의 방식

추진기(propeller)는 선박에서 가장 중요한 부분이며 매우 잘 손상되는 부분이기도 하다. 그러므로 이 추진기는 내식성과 기계적 강도가 큰 청동이 많이 사용된다. 근간에 들어 알루미늄청동도 사용되고 있으며 추진기축도 고강도와 내식성이 요구되기 때문에 강재축 표면에 청동슬리브를 씌워 사용하기도 한다. 추진기와 추진기축의 동합금은 선체(철강)보다 전위가 높아 추진기 부근의 선체는 양극이 되어 갈바닉부식을 일으킨다. 그러므로 적절히 방식하지 않으면 부식이 가속되어 심각한 손상으로 이어질 수 있다. 추진기주위의 방식으로는 앞에서 언급한 음극방식이 사용되며 희생양극식으로 추진기 보스주위에 둥근 형태로 아연판을 붙이기도 하며, 외부전원식의 경우 방식전류용 양극의 위치를 추진기 가까운 선미쪽 선체에 설치함으로써 방식에 필요한 전류를 공급한다.

그러나 이러한 추진축의 음극방식은 미주전류(stray current)를 형성하여 추진축 내부의 선미글랜드 부분 등 또 다른 부식을 일으키기도 한다. 이러한 현상은 선박이 운항 중 추진축계가 윤활유로 절연되면서 일어난다. 이러한 손상은 선체와 추진축계간의 접지장치(카본브러시 접지)를 통해 미주전류의 통로를 만들어 줌으로써 막을 수 있다. 이 외에도 추진기의 회전수 차로인한 추진기 중심부와 끝단부 간의 전위차, 그리고 추진기의 선형이상으로 인한 캐비테이션 부식이 발생할 수 있으므로 설계시부터 이러한 점에 유의해야 한다. 〈그림 15〉는 선미부의 개념적인 희생양극식 음극방식도와 방식용 양극으로부터 시작된 미주전류의 흐름을 보여주고 있다.



(A : 베어링, B: 선미글랜드)

〈그림 15〉 선미부 음극방식과 미주전류의 개념도

6.4 해수 발라스트탱크의 방식

중형이상의 선박이 공선으로 운항할 때 안전항해를 위해 발라스트탱크에 해수를 넣는 경우가 많다. 따라서 해수로 인한 부식이 발생할 수 있기 때문에 선체와 마찬가지로 도장과 음극방식을 병용해서 실시한다. 발라스트탱크의 내부는 구조가 복잡하고 좁아 건조 후 도장하기에 곤란하다. 따라서 초기에는 도장 없이 사용하는 경우도 있었으나 최근에는 에폭시계 도료의 저가 도료가 공급되면서 건조시부터 적용하고 있다. 음극방식으로는 희생양극식이 주로 사용되는데 초기에는 마그네슘(Mg)양극이나 알루미늄(Al)양극도 사용되었었으나 전위차 과다로 인한 수소발생으로 폐쇄 된 발라스트탱크내에서 폭발 위험이 있어 현재에는 아연(Zn)양극만이 사용되고 있다. 외부전원식(ICCP)도 물론 발라스트탱크 방식에는 적용되지 않는다.

6.5 선박기관의 부식과 방식

선박기관의 부식은 주로 물을 사용하는 기계, 즉, 보일러, 열교환기, 해수펌프 등이 여기에 해당된다. 이들에 대해 특징만을 살펴보면 다음과 같다.

1) 보일러의 부식과 방식

보일러는 내부에 고온고압의 물과 증기가 있고 외부에는 고온의 연소가스가 접촉한다. 보일러의 재료는 관과 증발관에 탄소강이나 저합금강 또는 고합금강이 사용되고 있다. 보일러의 pH는 중성보다 알카리도가 다소 높을 때(pH=10~11) 부식속도가 감소한다. 이것은 철과 물이 반응하여 Fe_3O_4의 보호피막을 형성하기 때문이다. 따라서 적정 알카리도를 유지하는 것은 보일러의 부식방지에 중요하며 이를 위해 화학약품에 의한 물처리를 한다. 그러나 보일러수의 가성알카리가 과잉이 되면 보일러내부의 보호피막을 용해하므로 부식이 증가된다. 알카리도가 너무 높아지는 경우 가성취화가 발생하여 균열을 일으키기도 한다. 또한 보일러수중에 용해되어 있는 미량의 용존산소도 부식에 큰 영향을 미치므로 정기적으로 제거해 주어야 한다.

이상의 보일러 내부 부식을 방지하기 위해서는 음극방식과 수질조절의 두 가지가 있다. 먼저 음극방식은 희생양극식으로 아연(Zn)양극을 사용하여 방식하는데 보일러의 크기와 형태에 따라 소형 사각형 또는 봉형 양극을 부착한다. 음극방식으로는 설치된 양극으로부터 방식전류가 도달할 수 있는 거리가 한계가 있어 전체적인 방식이 어려우므로 이러한 부분에 대해서는 보일러 수질조절이 맡는다. 보일러의 수질조절은 화학약품을 첨가하여 수질을 조절하는 수처리와 보일러수에 발생한 불순물을 제거하는 두 가지 방법이 있다. 수처리는 앞에서도 언급한 바와 같이 주로 pH를 10~11정도 유지하도록 하며, 용존산소와 반응하여 제거하는 일명 청관제(boiler compound)를 첨가하기도 하는데 발생하는 불순물 즉, 염소이온, 실리카, 전고형물 등은 보일내의 물의 일부를 정기적으로 배출(blow out)함으로써 제거한다.

보일러 연소실의 부식은 연소가스중 주로 바나듐(V)과 황(S)에 의한 것으로 사용하는 원료유의 성분에 많이 좌우된다. 바나듐(V)은 연소에 의해 V_2O_5를 형성하는데 이것은 융점이 낮은데다(685℃) 금속산화물(보일러 연소실면)을 만나면 융점이 더욱 낮아지게 된다. 따라서 연소실 내의 온도에 의해 이 V_2O_5가 승화하면서 연소실 금속면의 산화피막을 제거하게 된다. 이러한 반응은 연소과정인 산화성 분위기에서 더욱 가속되는데 이러한 부식을 바나듐부식(vanadium attack) 또는 고온부식이라 한다. 또한 황(S)은 연소하면 SO_2가 되고 수분(물)과의 반응으로 황산(H_2SO_4)을 형성하여 금속의 부식을 일으키게 되는데 이러한 부식을 노점부식(dew point corrosion) 또는 저온부식이라 부른다. 이들 부식을 방지하기 위해서는 바나듐이나 황의 성분이 적은 연료유를 사용해야 하는데 연료유를 받을 때 성분을 잘 살펴 가능한 한 유해성분이 적은 것을 선정하는 것이 중요하다. 그러나 어쩔 수 없이 유해성분이 함유된 연료유를 사용해야 하는 경우에는 연료유에 중화제 등을 첨가하기도 하나 현재까지 실질적인 대책이 어려운 실정이다.

2) 열교환기의 부식과 방식

복수기와 냉각기 등 열교환기는 관과 관판에 동합금을 그리고 수실과 외부 커버에 철강을 주로 사용하고 있다. 따라서 동합금부분과 수실인 철강재 사이에 갈바닉부식이 발생한다. 또한 사용하는 냉각제가 해수인 경우 그 부식은 더욱 가속화 될 수 있다. 냉각관의 부식은 전면부식이 일어나는 경우가 드물고 주로 공식 등 국부부식이 많다. Al황동관에서는 탈아연부식이 발생하기도 하며 유속이 빠른 곳에서는 난류에 의한 궤식(impingement attack)이 생기기도 한다. 이러한 현상은 관끝단에서 더 많이 발생한다.

열교환기에 공급되는 해수의 오염도는 부식에 영향을 미친다. 항내의 오염된 해수가 냉각기로 공급된 경우 항외의 청정해수에 비해 수배 또는 수십배로 부식속도가 증가될 수 있다. 한 예로 Al 황동관의 경우 오염해수에 의해 침식도가 0.5-1 mm/y가 되며 공식에 의해 수개월내에 관에 구멍이 발생할 수 있다. 오염해수에 의한 부식의 주원인은 유기물이 해수중에서 부패하면서 산소를 소모하므로 혐기성환원박테리아(sulfate reducing bacteria)가 번식하기 때문에 이로 인한 부식의 가속화가 일어난다.

해수를 냉각수로 사용하는 복수기, 냉각기 등 열교환기의 방식은 철강으로 된 수실과 동합금으로 된 관 및 관판 사이에 갈바닉 부식이 발생하기 때문에 도장방식 만으로는 방식하기에는 위험성이 높다. 도박의 취약부에 소양극-대음극 현상으로 인한 천공이 발생할 수 있기 때문이다. 그래서 도장을 하려면 콜타르 등 두껍고 완전한 도막으로 라이닝을 해야 하는데 이것만으로 내식성의 확보가 충분치 않기 때문에 대부분 음극방식을 병용한다. 열교환기 수실의 경우 일반적으로 그 면적이 크지 않아 작은 아연봉형 양극으로도 방식이 가능하다. 그러나 대형 시설에서는 아연판형 양극을 사용하기도 하고, 원자력과 같이 초대형 열교환기에서는 외부전원식 음극방식(ICCP)를 사용하기도 한다. 어떠한 시설이든 열교환기 내의 강철재는 대개 방식이 가능하다. 그러나 냉각관은 도장이나 음극방식 모두가 적합하지 않기 때문에 최근에는 초내식재료인 티타늄합금이나 니켈합금의 사용이 늘고 있다.

3) 내연기관의 부식과 방식

내연기관의 냉각수에 발생하는 문제는 부식발생과 스케일생성이다. 부식은 강도를 떨어뜨리고, 스케일은 냉각면에 형성되어 냉각효과를 저하한다. 그리고 내연기관은 운전 중에 내부의 연소열에 의한 열응력이 생겨 실린더라이너가 균열될 수 있고, 구멍이 생길 수도 있다. 내연기관의 냉각수 계통은 청수순환식과 해수순환식이 있다. 해수순환의 경우는 앞의 여러 곳에서 설명한 바와 같이 부식성이 강하고 스케일도 형성되기 쉽다. 청수순환의 경우는 대개 반복사용하는데 이 경우 장기간 사용에 의해 청수가 농축되어 부식성 및 스케일형성이 증가된다.

청수 순환계통의 물처리는 보일러의 경우와 유사하다. 다만 내연기관의 경우 소형선박에서 경량화 때문에 알루미늄합금을 사용하기도 하며, 운전온도가 약 70~90℃ 정도가 된다. 내연기관의 냉각계통은 수량이 적고 그 손실률이 낮아 약간의 보충급수와 계통내 부식억제제 등 첨가제에 의해 부식과 스케일형성을 방지한다. 이러한 청관제로는 크롬산소다, 아질산소다, 안식향산소다 등이

사용되며, 동계에는 내연기관 냉각수의 동결을 막기 위해 부동액을 첨가하기도 한다.

해수 냉각의 경우는 냉각실의 구조가 작고 복잡해 도장이 어렵기 때문에 아연양극에 의한 희생양극식 음극방식이 선호된다.

4) 해수펌프의 부식과 방식

해수펌프에는 와류식, 축류식 등 여러 가지가 있으며 어느 것이나 구조가 복잡하고 2가지 이상의 금속으로 구성되어 있다. 따라서 갈바닉부식이 자주 발생하며, 고속으로 운전되기 때문에 침식손상도 발생한다. 이 해수펌프의 손상은 유속에 의한 기계적인 손상과 해수에 의한 전기화학적인 부식으로 나눌 수 있으며 이 두 가지 손상이 동시에 발생하면 케비테이션부식을 일으켜 그 정도가 극심해져 수명을 현저히 단축시킨다.

이러한 펌프의 손상을 방지하기 위해서는 다른 부분과 같이 도장과 음극방식을 사용한다. 도장으로는 유체의 충격과 화학적 부식에 강한 세라믹코팅(ceramic coating)이나 네오프렌코팅(neoprene coating)을 하기도 하고, 합성수지제나 도자기제의 임펠러 케이싱을 사용할 수도 있으나 고가이므로 특수한 용도에만 적용한다. 또한 스테인레스강 등의 내식성이 높은 재료를 사용할 수 있으나 이도 또한 고가이기도 하고 해수중 스테인레스강의 사용은 국부부식의 원인이 되기 때문에 적합하지 않다. 따라서 펌프의 경우도 도장방식과 음극방식을 병용하여 사용하는 것이 현재로서는 가장 적합하다 하겠다. 펌프의 해수측은 공간이 좁아 큰 아연을 사용하기는 어려우며 봉상이나 작은 판상의 아연양극을 주로 붙인다.

7. 소형선박의 부식문제와 그 대책

1) 국내 소형선박의 현황

지금까지 내용은 선박의 전반적인 부식과 방식에 관한 것이었다. 철선이 주종을 이루는 중대형 상선과 달리 소형인 어선에는 FRP선과 목선이 주종을 이룬다. 현재 우리나라의 경우 총 어선척수 88,500여척 중 FRP선이 약 70%이며, 목선이 27%, 그리고 강선은 약 3%남짓밖에 되지 않는다. 따라서 앞에서 언급했던 선박의 부식과 방식에 관한 기사내용이 소형어선에 적합하지 않을 수 있음을 밝히며 소형선박에 관한 정보로 사용하기 위해서는 전반적인 부식과 방식관련 내용 중에서 선별적으로 다루어야 할 것이다. 본 소형선박부분에서는 최근 문제가 되고 있는 스테인레스강 축계의 이상부식 문제를 중심으로 다룬다. 5톤 이하의 소형선박은 FRP선 및 목선이 85%를 차지하고 있다. 이들 5톤 이하 선박의 엔진은 평균 약 250마력이하이며 회전수가 1200rpm이하이다. 그리고 축계재료로는 대부분 스테인레스강을 사용해 오고 있으며 그 직경은 FRP선에서 64~77mm이하(1종, 2종에 따라 다름)이다.

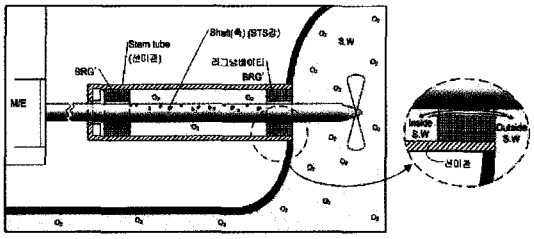
소형선박의 축계는 1종과 2종으로 나누어지는데 1종축 이라함은 "프로펠러축의 해수에 노출되는 부분을 일체의 슬리브 또는 2개 이상의 슬리브를 열박음이나 압입하기 전에 동질의 재료로 용접 또는 땜질한 슬리브"라고 선박기관기준에서 정의하고 있으며, 2종축 이라함은 "1종축 이외의 프로펠러축"이라고 단순하게 정의하고 있다. 그리고 현행 규정에 1종축과 2종축의 재질에 관한 규정이 명확치 않아 현행 기관기준으로 제1종축에는 스테인리스강(STS) 630만이 있고, 제2종축에는 STS

304 및 STS 316이 속해 있다. 따라서 슬리브를 장착하지 않는 2종축의 경우 축계부근의 해수침입에 의한 부식 등 제반 문제에 대한 자세한 규정이 없어 현재 운항되고 있는 FRP 소형선박의 스테인레스강 축계(대부분 STS304)의 심각한 이상부식현상이 보고되고 있다.

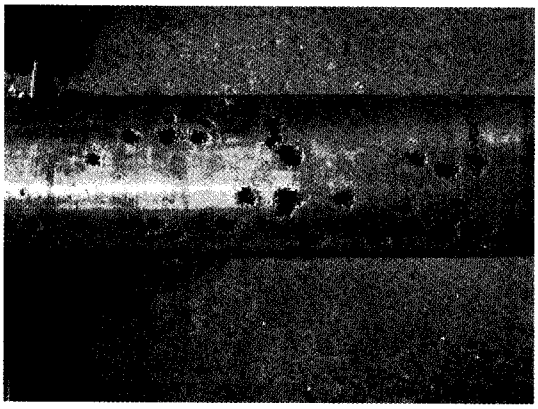
2) FRP 소형선 스테인레스강 축계의 이상부식

FRP 소형선 스테인레스강 축계의 국부부식으로 인한 이상부식은 상당히 오랫동안 문제점으로 지적되어 왔다. 일반적으로 스테인레스강은 내식성이 높은 재료로 청수에서는 특별한 문제가 없는 한 거의 반영구적으로 사용이 가능하다. 이것은 스테인레스강 표면이 공기 중에서 부동태(passive film)라는 산화피막을 치밀하게 형성하여 더 이상의 부식이 내부 소지금속으로 침입하지 못하게 막고 있기 때문이다. 그러나 해수와 같이 염화물이 존재하는 환경에서는 본 원고의 4.3절(스테인레스강의 해수부식 특성)에서 상세히 설명한 바와 같이 스테인레스강의 표면에 접촉하여 부동태피막이 파괴되면서 더 이상의 보호성능을 가지지 못한다. 그리고 국부적으로 부동태막이 파괴되는 부분은 공식이나 틈부식의 형태로 부식하게 되며 염화물 즉 염소이온이 존재하는 한 국부부식은 계속해서 일어난다. 이러한 국부부식은 환경적인 고립상태를 만들어 국부부식 내의 환경을 더욱 산성화하면서 부식을 가속화한다.(자기증식형 부식)

〈그림 16〉은 현재 운항중인 FRP선의 대표적 축계부를 개념적으로 나타낸 그림이다. 선미관(stern tube)내부 축계에 베어링(BRG')이 설치되어 있으며 선체입구부에 리그넘바이티(Lignumvitae) 베어링이 설치되어 있다. 리그넘바이티는 열대성 목재로 내부에 수지분을 많이 함유하고 있어 축이 회전하면서 온도가 상승하면 목재 내에 함유하고 있던 수지분이 스며나오면서 윤활을 하고 주위의 해수에 의해 냉각을 하는 베어링이다. 따라서 해수가 리그넘바이티 베어링의 틈을 타고 내부로 흘러들어가게 되며 선미관내에는 해수가 차 있게 된다. 정박 중 선미관내의 해수는 거의 정체상태로 있으며 운항할 때는 축의 회전으로 선미관 외부와 내부사이에 회전력이 발생하면서 〈그림 16〉의 우측 원안 그림과 같이 일부의 해수 이동이 일어나게 된다. 〈그림 17〉은 FRP선박의 스테인레스축계의 이상부식을 일으킨 대표적 사진이다. 축계의 여러곳이 심한 부식으로 움푹 패여 있으며 공식형태를 보이고 있다. 이러한 부식은 축 둘레 전체 걸쳐 일어나는 것이 아니라 한쪽면에만 집중적으로 발생하고 있으며 소형선박 운항과 수리보수 전문가들의 의견을 종합하면 항해중보다 정박을 오래한 선박에서 더 심했다고 한다. 또한 리그넘바이티 베어링이 헐거워 해수가 많이 침입한 선박일수록 이러한 이상부식현상이 상대적으로 적었다는 보고도 있다.



〈그림 16〉 소형선박 선미부 축계의 이상부식 개념도



〈그림 17〉 소형 스테인레스강 축계의 이상 부식사진

3) 스테인레스강 축계의 이상부식 원인

상기 이상부식의 상황을 종합해 보면 부식원인의 가능성을 다음의 몇 가지로 추정해 볼 수 있는데, 첫째로 스테인레스강이 가장 취약한 부식의 하나인 틈부식(creivice corrosion)의 가능성이다. 스테인레스강은 틈이 조성되었을 때 3.3절에서 설명한 바와 같이 틈내부와 틈외부의 용존산소 차로 틈내부가 양극이 되어 부식되며, 부식된 틈내부는 양이온(+)이 많아져 외부로부터 음이온(-)인 염소이온(Cl^-)을 유인하게 되며, 부식과정에서 발생한 수소이온(H^+)과 반응하여 염산(HCl)을 만들면서 더욱 산성화되어 간다. 그러므로 틈내부의 부식은 더 가혹한 환경이 되어 부식은 더욱 가속화된다. 선미관 내부 환경이 바로 틈내부와 유사하여 같은 원인으로 부식이 발생한 것으로 추정되며 이러한 추정은 정박 중 더욱 부식이 심했다는 의견과 리그넘바이티 베어링이 헐거워져 해수가 많이 침입했을 때 상대적으로 부식이 적었다는 의견을 뒷받침하는 것이어서 그 신빙성을 더해 준다.

둘째는 스테인레스강재의 재질 불량으로 인한 공식의 가능성이다. 초기 건조중 선박이 해수중에 진수되고 건조가 완료되어 운항이 시작되기까지 상당기간이 소요되었으리라 생각되며 아니면 겨울철 등 장기간 정박기간 중 선미관 축계 내에서 선미관내의 해수 중에 있던 부유물이 침전되면서 축계의 상부쪽에 덮여 그 부유물과 축계사이에 틈이 조성되면서 틈부식과 공식 형태로 발전했을 가능성이다. 스테인레스강재의 재질 문제와 앞의 첫째 원인에서 언급한 틈부식의 조합일 가능성이 있다.

세 번째의 가능성은 미주전류(stray current)에 의한 부식 즉 전식이다. 선박내부로부터 누설전류가 축계를 통하여 해수로 흐르면서 전류가 흘러나간 축계부에서 부식이 발생한 것으로 추정할 수 있다. 현재로서 정확한 원인이 무엇인지 알 수 없으나 설명 중 언급한 바와 같이 틈부식의 가능성에 더 무게를 두고 있다.

4) FRP 축계의 부식방지(제언)

현재로서 어느 한가지로 축계의 이상부식을 방지할 수 있는 방법을 제시할 수는 없으나 가능한 방법들을 나열하면 몇 가지가 있을 수 있다. 첫째는 틈부식의 주원인이 되는 틈을 제거하는 방법이다. 이러기 위해서는 선미관 축계를 유압식으로 바꾸어 축계가 해수와 접촉을 하지 않게 하거나, 아니면 오히려 주변구조를 바꾸어 해수가 자유롭게 순환할 수 있도록 하는 것이다. 전자는 해수접촉이 없으니 부식이 일어나지

않게 되며, 후자는 해수와 접촉은 있지만 해수가 순환하므로 내부와 외부의 환경 차를 제거함으로써 틈부식의 원인을 줄이게 된다. 둘째는 내해수부식성, 내틈부식성 축계재료를 사용하는 것이다. 그러나 이것은 경비와 직접적으로 연결되므로 최후의 선택이 될 것이다. 셋째는 미주전류의 경우 접지 등을 통하여 미주전류의 흐름을 축계에서 해수 쪽으로 흐르지 않고 직접 축계를 통하여 다시 되돌아가도록 하는 것이다. 그리고 넷째는 음극방식 하는 것이다. 음극방식을 통해 부식에 필요한 방식전류를 국부부식이든 균일부식이든 부식부에 공급한다면 부식을 막을 수 있을 것이다. 음극방식의 경우 선미관의 형태에 따라 여러 가지 기술적인 방법이 있는데 이에 대한 구체적인 검토는 연구를 통하여 결정해야 할 것이다.

8. 결 언

지금까지 선박의 부식과 방식에 관한 전반적인 내용에 대해 기술하였다. 지면의 한계상 구체적인 내용을 다루지 못한 부분이 많으며 더 자세한 내용을 알고자 하는 독자는 전문적인 기술서적을 참고해야 할 것이다. 본고의 내용 중 많은 부분이 중형이상의 강재선박에 관한 것이며 소형선박에 관한 내용은 말미의 축계 이상부식에 대해 다소 구체적으로 다루었다. 그러나 부식은 금속에서만 발생하며 특히 해양환경중의 부식은 해수중 염분에 의해 가속화된다는 진리는 어느 부분에나 적용될 수 있을 것이다. 또한 방식은 초기에 적절한 방법을 강구하는 것이 가장 안정적이고 경제적이다. 이러한 본 원고의 작은 정보를 통해 독자들의 큰 문제를 미연에 방지할 수 있기를 바란다.